

TB/05/004-11



Ministero delle Attività Produttive

Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività

Ufficio Italiano Brevetti e Marchi

Ufficio G2



**Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per
INVENZIONE INDUSTRIALE N. TO 2004 A 000100. ✓**

Si dichiara che l'unita copia è conforme ai documenti originali
depositati con la domanda di brevetto sopra specificata, i cui dati
risultano dall'accluso processo verbale di deposito.

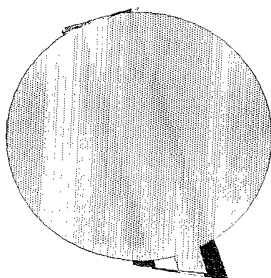
Inoltre disegni definitivi (pagg.2) depositati alla CCIAA di Torino in data
05.04..2004 prot. TO-R0142.

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Roma, li.....**25. MAR. 2005**

IL FUNZIONARIO

Giampietro Carlotto



MODULO A (1/2)

AL MINISTERO DELLE ATTIVITA' PRODUTTIVE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI (U.I.B.M.)

TO 2004A 000100

DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE N°

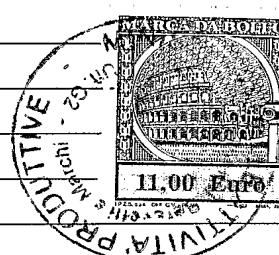


A. RICHIEDENTE/I

COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	A1	UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO		
NATURA GIURIDICA (PF / PG)	A2	PG	COD. FISCALE PARTITA IVA	A3 03064870151
INDIRIZZO COMPLETO	A4	VIA FESTA DEL PERDONO 7, 20122 MILANO MI		
COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	A1			
NATURA GIURIDICA (PF / PG)	A2		COD. FISCALE PARTITA IVA	A3
INDIRIZZO COMPLETO	A4			
C. TITOLO	C1	PROCEDIMENTO PER LA MISURAZIONE DI PROPRIETA' DI PARTICELLE MEDIANTE ANALISI DI FRANGE DI INTERFERENZA, E RELATIVA APPARECCHIATURA		

D. INVENTORE/I DESIGNATO/I (DA INDICARE ANCHE SE L'INVENTORE COINCIDE CON IL RICHIEDENTE)

COGNOME E NOME	D1	GIGLIO MARZIO
NAZIONALITA'	D2	ITALIANA
COGNOME E NOME	D1	POTENZA MARCO ALBERTO CARLO
NAZIONALITA'	D2	ITALIANA
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITA'	D2	
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITA'	D2	



	SEZIONE	CLASSE	SOTTOCLASSE	GRUPPO	SOTTOGRUPPO
E. CLASSE PROPOSTA	E1	E2	E3	E4	E5

F. PRIORITA'

DERIVANTE DA PRECEDENTE DEPOSITO ESEGUITO ALL'ESTERO

STATO O ORGANIZZAZIONE	F1		TIPO	F2	
NUMERO DOMANDA	F3		DATA DEPOSITO	F4	
STATO O ORGANIZZAZIONE	F1		TIPO	F2	
NUMERO DOMANDA	F3		DATA DEPOSITO	F4	

G. CENTRO ABILITATO DI RACCOLTA CULTURE DI MICROORGANISMI

G1

FIRMA DEL / DEI RICHIEDENTE / I

EDGARDO DEAMBROGI

c/o Jacobacci & Partners S.p.A.

I0109881

MODULO A (2/2)

I. MANDATARIO DEL RICHIEDENTE PRESSO L'UIBM

LA/E SOTTOINDICATA/E PERSONA/E HA/HANNO ASSUNTO IL MANDATO A RAPPRESENTARE IL TITOLARE DELLA PRESENTE DOMANDA INNANZI ALL'UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI CON L'INCARICO DI EFFETTUARE TUTTI GLI ATTI AD ESSA CONNESSI, CONSAPEVOLE/I DELLE SANZIONI PREVISTE DALL'ART.76 DEL D.P.R. 28/12/2000 N.445.

NUMERO ISCRIZIONE ALBO E NOME ;	I1	263BM Guido Jacobacci; 257BM Giuseppe Quinterno; 368BM Massimo Introvigne; 435BM Paolo Rambelli; 488BM Angelo Gerbino; 347BM Fabio Siniscalco; 113BM Claudio Maggioni; 90BM Francesco Serra; 553BM Corrado Fioravanti; 903BM Paolo Ernesto Crippa; 949BM Luca Gallo; 983BM Lucia Vittorangelì; 834B Giorgio Long; 859B Ilaria Simonelli; 931B Edgardo Deambrogi; 934B Diego Giugni; 940B Ferruccio Postiglione
DENOMINAZIONE STUDIO	I2	Jacobacci & Partners S.p.A.
INDIRIZZO	I3	Corso Regio Parco 27
CAP/ LOCALITÀ/PROVINCIA	I4	10152 TORINO TO
L. ANNOTAZIONI SPECIALI	L1	Si allega dichiarazione sostitutiva di lettera di incarico

M. DOCUMENTAZIONE ALLEGATA O CON RISERVA DI PRESENTAZIONE

TIPO DOCUMENTO	N.ES.ALL.	N. Es.Ris.	N. PAG. PER ESEMPLARE
PROSPETTO A, DESCRIZ., RIVENDICAZ.	1		30
DISEGNI (OBBLIGATORI SE CITATI IN DESCRIZIONE)	1	1	2
DESIGNAZIONE D'INVENTORE			
DOCUMENTI DI PRIORITÀ CON TRADUZIONE IN ITALIANO			
AUTORIZZAZIONE O ATTO DI CESSIONE			
	(SI / NO)		
LETTERA D'INCARICO	NO		
PROCURA GENERALE	NO		
RIFERIMENTO A PROCURA GENERALE	NO		

IMPORTO VERSATO ESPRESSO IN LETTERE

ATTESTATI DI VERSAMENTO	Euro	DUECENTONOVANTUNO/80	
FOGLIO AGGIUNTIVO PER I SEGUENTI PARAGRAFI (BARRARE I PRESCELTI)	A	D	F
DEL PRESENTE ATTO SI CHIEDE COPIA AUTENTICA ? (SI/NO)	SI		
SI CONCEDE ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO? (SI/NO)	NO		
DATA DI COMPILAZIONE	20/02/2004		

FIRMA DEL / DEI
RICHIEDENTE / I

Edgardo Deambrogi
EDGARDO DEAMBROGI
(iscr. No. 937B)

c/o Jacobacci & Partners S.p.A.

I0109881

VERBALE DI DEPOSITO

NUMERO DI DOMANDA	TORINO TO 2004A 000100 ✓		
C.C.I.A.A. DI	TORINO	COD.	01
IN DATA	20/02/2004 ✓	IL/I RICHIEDENTE/I SOPRAINDICATO/I HA/HANNO PRESENTATO A ME SOTTOSCRITTO	
LA PRESENTE DOMANDA, CORREDATA DI N.	00	FOGLI AGGIUNTIVI, PER LA CONCESSIONE DEL BREVETTO SOPRA RIPORTATO.	
N. ANNOTAZIONI VARIE DELL'UFFICIALE ROGANTE			
IL DEPOSITANTE	TIMBRO	L'UFFICIALE ROGANTE	
<i>Giorgio Chiala</i>	CAMERA DI COMMERCIO INDUSTRIA ARTIGIANATO E AGRICOLTURA DI TORINO	<i>Giordana Zellada</i>	
		Giordana ZELLADA CATEGORIA C	

PROSPETTO MODULO A

DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE

NUMERO DI DOMANDA:

TO 2004A000100

DATA DI DEPOSITO:

20/02/2004

A. RICHIEDENTE/I COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE, RESIDENZA O STATO;

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO, 20122 MILANO MI

C. TITOLO

PROCEDIMENTO PER LA MISURAZIONE DI PROPRIETA' DI PARTICELLE MEDIANTE ANALISI DI FRANGE DI INTERFERENZA, E RELATIVA APPARECCHIATURA

SEZIONE

CLASSE

SOTTOCLASSE

GRUPPO

SOTTOGRUPPO

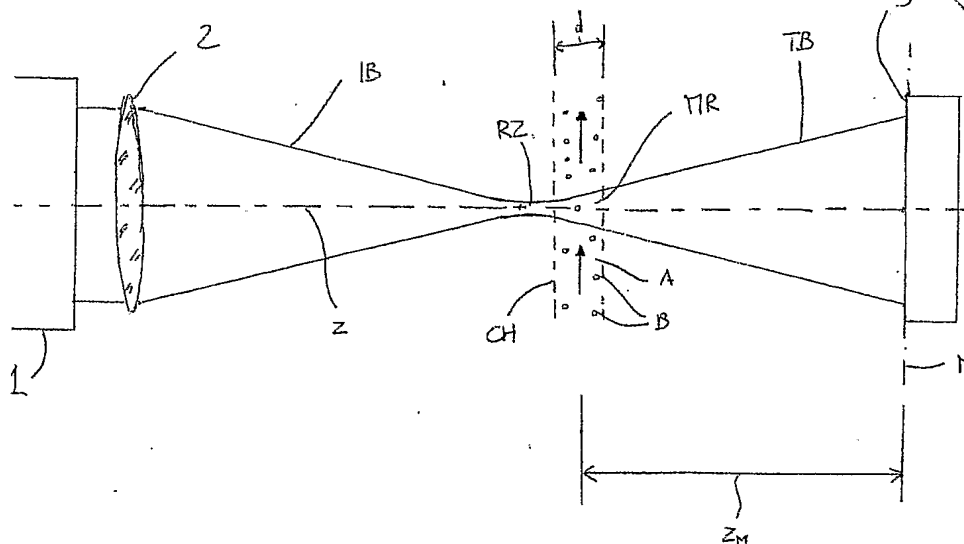
E. CLASSE PROPOSTA

O. RIASSUNTO

Un procedimento per la misurazione di proprietà di particelle comprende le fasi di: generare un fascio di radiazione (IB) propagantesi lungo una direzione principale (Z); illuminare con il fascio (IB) una regione di osservazione (MR) con particelle (B), una parte del fascio (IB) generando una radiazione diffusa (SW) per interazione della parte del fascio (IB) con le particelle (B) ed un'altra parte (TB) trasmettendosi imperturbata attraverso la regione di osservazione (MR); e rilevare su un piano (M) disposto lungo la direzione di propagazione (z) valori di intensità di radiazione determinati dall'interferenza fra la radiazione diffusa (SW) e la radiazione trasmessa (TB). Il procedimento comprende inoltre le fasi di: determinare sistemi di frange di interferenza associati alle particelle (B), in cui l'interferenza è influenzata da un ritardo di fase della radiazione diffusa (SW) rispetto alla radiazione trasmessa (TB), il ritardo essendo determinato dall'interazione del fascio di radiazione (IB) con le particelle (B); e determinare le proprietà delle particelle (B) sulla base delle frange di interferenza di ordine inferiore.

(Figura 2)

P. DISEGNO PRINCIPALE



FIRMA DEL/ DEI
RICHIEDENTE/ I

EDGARDO DEAMBROGI

c/o Jacobacci & Partners S.p.A.

10109881

CAMERA DI COMMERCIO
INDUSTRIA ARTIGIANATO E AGRICOLTURA
DI TORINO

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:
"PROCEDIMENTO PER LA MISURAZIONE DI PROPRIETÀ DI
PARTICELLE MEDIANTE ANALISI DI FRANGE DI INTERFE-
RENZA, E RELATIVA APPARECCHIATURA"

Di: UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO, nazionalità
italiana, Via Festa del Perdono, 7, 20122, Milano

Inventori designati: Marzio GIGLIO, Marco Alberto
Carlo POTENZA

Depositata il: 20 febbraio 2004

TO 2004 A 000100

DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce ad un pro-
cedimento per la misurazione di proprietà di parti-
celle, del tipo descritto nel preambolo della ri-
vendicazione 1.

Tale procedimento si basa, per la determina-
zione delle proprietà delle particelle, su un pro-
cesso di scattering, o diffusione, di onde.

Le tecniche tradizionali di scattering di luce
per la determinazione di proprietà di particelle o
materiali, quali informazioni sulla dimensione,
sulla forma e sulla struttura, sono basate sulla
misura della distribuzione dell'intensità della ra-
diazione diffusa intorno alla direzione di propaga-
zione del fascio incidente su di un campione. In

generale l'informazione sulla fase delle onde diffuse viene persa.

La fase dell'onda diffusa, emergente dal centro di scattering, contiene tuttavia preziose informazioni. Infatti, mentre per particelle trascurabilmente piccole rispetto alla lunghezza d'onda della radiazione viene emessa un'onda sferica in fase con la radiazione incidente, al crescere del diametro delle particelle tale onda presenta una differenza di fase che cresce in dipendenza dal diametro. Nella maggior parte dei casi e tralasciando valori patologici per il salto di indice di rifrazione tra l'elemento diffusore ed il mezzo circostante, la gran parte della variazione della fase avviene per diametri prossimi e tipicamente inferiori al valore della lunghezza d'onda. Tale intervallo di diametri è solitamente mal coperto dai metodi tradizionali, poiché la variazione dell'intensità diffusa con l'angolo è modesta, in particolare se ci si limita a osservazioni ad angoli di scattering molto piccoli, come è conveniente per mantenere lo strumento in una forma compatta. Infatti, nelle tecniche tradizionali di scattering, l'informazione sulle dimensioni di particelle di questo ordine di grandezza avviene mediante sensori

che rilevano l'intensità diffusa ad angoli molto grandi rispetto alla direzione di propagazione del fascio incidente.

Recentemente sono state proposte tecniche alternative a quella tradizionale sopra descritta, note come "tecniche di scattering in campo vicino" (near field scattering), il cui scopo è quello di misurare la distribuzione dell'ampiezza del campo diffuso al variare dell'angolo mediante l'interferenza tra il fronte d'onda emergente dal campione e il fronte d'onda trasmesso. Anche in questo caso la fase delle onde viene persa, e per quanto riguarda l'intervallo di dimensioni a cui ha accesso la tecnica, l'informazione che si ottiene è del tutto analoga a quella ottenibile con le tecniche tradizionali sopra menzionate.

In passato sono state individuate e realizzate alcune apparecchiature che permettono la misura della differenza di fase tra l'onda trasmessa dal campione e l'onda diffusa dalle particelle.

È infine noto che tecniche di olografia in linea, o in trasmissione, sono state utilizzate per effettuare misure di dimensioni di particelle, soprattutto mediante la tecnica detta di "olografia sintetica". L'olografia sintetica permette di rica-



vare le dimensioni delle particelle mediante un procedimento di calcolo riconducibile alla ricostruzione dell'immagine a partire dal sistema di frange di interferenza registrato su di un opportuno sensore. Per ottenere una risoluzione elevata, è necessario registrare un numero elevato di frange di interferenza, in particolare è necessario registrare le frange che risultano spazialmente più fitte, ovvero che originano dalle onde diffuse ad angoli grandi (gli angoli sono misurati rispetto alla direzione di incidenza della radiazione) (H.J. Kreuzer e R.A. Pawlitzek, Europhysics News March/April 2003; F. Dubois, C. Minetti, O. Monnom, C. Yourassowsky, J.-C. Legros, e P. Kischel, Appl. Opt. 41, 4108-4119 (2002)).

Scopo della presente invenzione è di realizzare un procedimento per l'analisi e la misura di proprietà di particelle, mediante l'analisi della differenza di fase tra l'onda trasmessa dal campione e l'onda diffusa dalle particelle stesse, che non richieda per la sua attuazione configurazioni ottiche o tecniche di generazione e raccolta dati complesse.

Tale scopo viene raggiunto secondo l'invenzione da un procedimento per la misurazione

di proprietà di particelle avente le caratteristiche definite nelle rivendicazioni.

Secondo l'invenzione, per ottenere l'informazione sulla differenza di fase, tale procedimento considera uno schema ottico nel quale la luce scatterata viene fatta interferire con l'intenso fascio trasmesso, che agisce quindi da riferimento di fase per l'onda diffusa (sistema ad autoriferimento).

E' importante notare che, sebbene lo schema ottico sia del tutto analogo a quello utilizzato nelle tecniche di olografia sintetica, il metodo oggetto della presente invenzione si basa su un principio fisico differente, che permette di ottenere informazioni aggiuntive rispetto a quelle che si ottengono da un ologramma. Mentre le tecniche di olografia sintetica sono condizionate dalla risoluzione della strumentazione che, come si è detto sopra, dipende dal numero di frange di interferenza registrate, la presente invenzione si basa invece sul fatto che tutta l'informazione sulla potenza della radiazione rimossa dall'onda incidente sulla particella è contenuta nell'onda che, a valle della diffusione, si propaga nella direzione dell'onda incidente stessa, congruamente con quanto affermato

dal cosiddetto "Teorema Ottico". Questa informazione è ottenuta secondo la presente invenzione dall'analisi della posizione e della configurazione di poche frange di interferenza (generalmente meno di 10-20 frange) attorno all'asse ottico generate dalla interferenza tra il campo trasmesso e l'onda scatterata.

Forma ulteriore oggetto dell'invenzione un'apparecchiatura per attuare un procedimento per la misurazione di proprietà di particelle secondo l'invenzione.

Verrà ora descritta una forma di attuazione non limitativa dell'invenzione, facendo riferimento ai disegni allegati, in cui:

- la figura 1 è uno schema di principio che illustra il fenomeno della diffusione di un'onda da una particella;
- la figura 2 è una vista schematica di una forma di realizzazione di un'apparecchiatura per effettuare un procedimento di misurazione secondo l'invenzione; e
- la figura 3 è una vista schematica di una variante dell'apparecchiatura della figura 2.

Il procedimento e l'apparecchiatura secondo la presente invenzione si basano sul seguente princi-

pio fisico, illustrato con riferimento alla figura 1.

Si consideri un'onda elettromagnetica IW (per semplicità illustrata in figura 1 come un'onda piana) che si propaga in un mezzo A lungo una direzione z ed incide su di una particella B. Il mezzo A e la particella B (che può essere ad esempio una bolla in un materiale trasparente, solido o liquido) alla frequenza di tale onda IW presentano indici di rifrazione rispettivamente n_A e n_B .

La particella B diventa sorgente di una onda elettromagnetica sferica SW. Nel caso in cui la particella sia sferica e trascurabilmente piccola rispetto alla lunghezza d'onda dell'onda IW, l'onda emergente SW, nota come onda diffusa, è in fase con l'onda incidente IW, e quindi anche con la frazione trasmessa TW di tale onda. Su un piano M di rilevazione di un sensore, posto ad una distanza prefissata z_M dalla particella B, l'interferenza tra l'onda diffusa SW e l'onda trasmessa TW, la cui ampiezza è molto maggiore di quella dell'onda diffusa SW, origina una serie di frange circolari e concentriche, il cui centro C giace sulla proiezione della posizione della particella B sul piano M lungo la direzione di propagazione z della radiazione IW



incidente sulla particella B. A causa del fatto che le due onde SW e TW sono in fase, al centro C del sistema di frange è presente un massimo di interferenza. I raggi di tali frange sono dettati dalla lunghezza d'onda della radiazione e dalla distanza z_M tra la particella B e il piano M del sensore. Nel caso in cui la particella non sia sferica, la forma delle frange di interferenza non è circolare e permette di ricavare informazioni sulla forma della particella.

I raggi delle frange elevati al quadrato sono direttamente proporzionali all'ordine n-esimo delle frange. La costante di proporzionalità è legata in maniera univoca alla distanza tra la particella B ed il piano M ed alla lunghezza d'onda.

Al crescere della dimensione della particella B, l'onda diffusa SW presenta un ritardo di fase legato in modo noto alla dimensione stessa e, molto debolmente, alla differenza tra gli indici di rifrazione $n_B - n_A$. In conseguenza di questa differenza di fase, al centro C del sistema di frange, ovvero nella direzione dell'onda trasmessa TW, l'interferenza con l'onda diffusa provoca una diminuzione dell'intensità.

Ovviamente, il ritardo di fase introduce anche

una variazione nei raggi delle frange d'interferenza.

La legge lineare descritta sopra viene comunque mantenuta e la pendenza della retta è indipendente dalla differenza di fase, mentre quest'ultima determina in modo univoco l'intercetta all'origine, estrapolata per $n = 0$, che è nota come "ordine frazionario al centro". L'ordine frazionario al centro nel caso in cui la differenza di fase sia nulla è nullo, ovvero si ha un massimo di intensità. Di conseguenza una misura dell'ordine frazionario al centro fornisce il valore della differenza di fase, e di conseguenza le dimensioni della particella B.

La configurazione delle frange di interferenza può essere vantaggiosamente analizzata in maniera tale da fornire anche la profondità di modulazione di intensità della figura di interferenza. Tale profondità di modulazione è determinata dal rapporto tra l'ampiezza del campo diffuso e l'ampiezza del campo incidente. Di conseguenza contiene anch'essa l'informazione sulla quantità di radiazione rimossa dal fascio e quindi sulla dimensione della particella.

Un esempio schematico di una possibile forma di realizzazione dell'apparecchiatura con cui pos-

sono essere compiute misure su particelle secondo la presente invenzione è mostrato in figura 2. L'apparecchiatura comprende una sorgente di radiazione elettromagnetica 1, atta a generare un fascio di radiazione IB che presenta un intervallo di frequenze centrato intorno ad una frequenza predeterminata ω , corrispondente ad una lunghezza d'onda nel vuoto λ . Nella direzione z di propagazione del fascio, tale sorgente 1 è eventualmente seguita da un filtro spaziale (non illustrato) e da un'ottica 2 di formatura del fascio.

La sorgente 1 emette preferibilmente luce visibile o infrarossa, ed è ad esempio costituita da un diodo ad emissione di luce o da un laser a semiconduttore o di altro genere, in base alle necessità della misura. In generale, l'utilizzo di sorgenti di radiazione a banda non troppo stretta permette di ridurre apprezzabilmente gli effetti dovuti alle interferenze spurie o multiple. Vantaggiosamente, per alcune applicazioni la sorgente può emettere radiazione distribuita intorno a più valori di lunghezza d'onda (condizione nota come "sorgente a molti colori").

Le particelle da analizzare possono essere composte di qualsiasi sostanza, materiale o elemen-

to, solido o fluido (aerosol, gocce, bolle). Tali particelle possono essere disposte in modo stazionario oppure muoversi all'interno del mezzo A. Il mezzo A può essere solido o fluido, ma in ogni caso deve essere trasparente alla/e frequenza/e della radiazione incidente utilizzata. Inoltre, la densità delle particelle nel mezzo A (numero di particelle per unità di volume) deve consentire la trasmissione di almeno parte dell'onda incidente IW.

In altre parole, la densità delle particelle deve essere abbastanza bassa all'interno del volume di misura in modo che i sistemi di frange possano essere rivelati tutti individualmente con buona definizione. In tali condizioni si è certi che la intensità del fascio trasmesso sia praticamente invariata.

Nel caso di particelle B disperse in un mezzo A fluido, un metodo convenzionale di confinamento appropriato garantisce che solo una particella alla volta sia presente in una regione di osservazione MR investita dal fascio IB. Come è mostrato in figura 2, il confinamento è ottenuto ad esempio tramite un condotto CH avente pareti trasparenti alla radiazione del fascio IB, che convoglia il mezzo A in cui sono disperse le particelle B nella regione



di osservazione MR. Il fascio incidente IB nella figura 2 è illustrato come un fascio laser focalizzato. La regione di osservazione MR in cui sono condotte le particelle B presenta un'ampiezza d nella direzione z del fascio IB sufficientemente sottile da permettere il passaggio di una sola particella B per volta nella regione MR (o al più poche particelle). Per motivi riguardanti l'ampiezza dei segnali, è conveniente focalizzare il fascio in maniera che le particelle attraversino il fascio nella vicinanza del fuoco (ma non esattamente nella zona focale), in maniera che l'intensità del campo incidente sulle particelle sia opportunamente alta. Come è noto, nelle vicinanze del piano focale un'onda esibisce infatti il fenomeno della "anomalia di fase" e, per semplificare l'analisi dei dati, è preferibile che le particelle vengano addotte in regioni al di fuori del cosiddetto Rayleigh Range, in maniera che gli effetti dell'anomalia di fase vengano minimizzati.

Come è inoltre noto, una particella posta nel fuoco (nel piano di minor diametro del fascio) emette un'onda sferica perfettamente cofasale con il fascio incidente, e pertanto non si osservano frange di interferenza. Una tale geometria è quella u-

tilizzata in apparecchiature sviluppate in passato per la misura della differenza di fase fra l'onda diffusa e l'onda incidente (si vedano il brevetto US-A-5 037 202, e J. Batchelder e M. Taubenblatt, Appl. Opt. 30, 4972-4979 (1991)). In tali condizioni però le particelle devono attraversare il fascio esploratore necessariamente nel piano di minor diametro ed in direzione diametricale (ossia passante per il centro). Se da un lato questo schema permette l'uso di sensori semplici (ad un unico elemento sensibile), dall'altro richiede sistemi ottici complessi e con frequenza di campionamento e di raccolta dati limitata.

Preferibilmente, per i motivi sopra esposti la regione MR è al di fuori dalla zona di Rayleigh RZ vicino alla posizione di minor diametro del fascio IB, in maniera tale da evitare effetti spuri causati dalla presenza della anomalia di fase presente in tale zona RZ.

Allineato lungo la direzione di propagazione z della radiazione IB, ovvero sull'asse ottico del sistema, è disposto un dispositivo 3 per la raccolta e la registrazione della radiazione proveniente dalla regione di osservazione MR. Tale radiazione rilevata comprende una radiazione diffusa generata

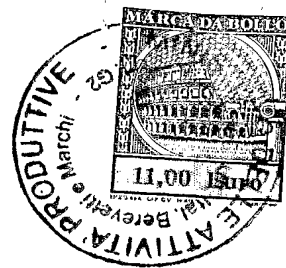
per interazione di scattering della radiazione incidente IB con le particelle B, secondo il principio sopra descritto, ed una parte TB formata da una frazione del fascio incidente IB che viene trasmessa imperturbata attraverso la regione di osservazione MR. Il dispositivo 3 è formato da una pluralità di elementi sensori in grado di rilevare una pluralità di valori di intensità di radiazione elettromagnetica, disposti sul piano M. Preferibilmente, gli elementi sensori del dispositivo 3 sono disposti in modo tale da formare una matrice rettangolare di elementi sensori, ognuno dei quali è in grado di rilevare in un punto distinto un valore dell'intensità della radiazione elettromagnetica. Ancora più preferibilmente, il dispositivo 3 comprende un sensore CCD o un sensore CMOS o NMOS. In questo modo, il dispositivo 3 è in grado di rilevare le frange di interferenza generate, secondo il principio sopra descritto, dall'interferenza della radiazione diffusa dalle particelle B con il fascio trasmesso TB alla distanza z_m del dispositivo 3 dalla particella B. Mezzi (non illustrati) per ottenere sul dispositivo 3 una opportuna distribuzione della radiazione legata alle frange di interferenza sono eventualmente interposti fra la particella da

analizzare e il dispositivo sensore 3. Tali mezzi possono essere costituiti ad esempio da un sistema ottico.

Gli elementi sensibili del dispositivo sensore 3 rilevano una pluralità di valori dell'intensità della radiazione, uno per ciascuno degli elementi sensibili, e forniscono corrispondenti segnali ad un'unità di elaborazione (non illustrata).

Tale unità di elaborazione è programmata per determinare le dimensioni ed eventualmente la forma delle particelle mediante analisi delle frange di ordine inferiore definite dai valori di intensità di radiazione misurati. Un esempio di procedura di elaborazione dei dati raccolti in una misura svolta con un'apparecchiatura come sopra descritta o in un'altra realizzazione prevedibile, consiste nelle fasi seguenti:

- a) registrazione ad una distanza fissata z_M dalla regione MR di una distribuzione di intensità $I(x,y)$ che, in presenza di una particella nel fascio, fornisce le frange di interferenza tra l'onda diffusa e l'onda trasmessa (x ed y sono le coordinate dei punti sul piano di rilevazione M del sensore 3);
- b) registrazione di un opportuno campione di distribuzioni di intensità $I_i(x,y)$ per ottenere una



distribuzione di intensità $I_0(x,y)$ che ben rappresenta la distribuzione di intensità in assenza della particella;

c) elaborazione dei dati così ottenuti per ottenere una distribuzione $J(x,y) = (I(x,y) - I_0(x,y)) / I_0(x,y)$ che fornisce le frange di interferenza ad elevato contrasto, normalizzate per l'intensità incidente sulla particella;

d) elaborazione dei dati relativi alla distribuzione di intensità $J(x,y)$ per la caratterizzazione della configurazione di frange di interferenza in termini dei valori dei raggi e della forma;

e) elaborazione dei dati relativi alla configurazione delle frange di interferenza per la determinazione dell'ordine frazionario al centro e, dalla misura della profondità di modulazione, dell'ampiezza diffusa, e quindi della dimensione e della forma della particella.

Nell'esempio sopra descritto le funzioni $I(x,y)$ e $J(x,y)$ sono rappresentative delle frange di interferenza, mentre $I_0(x,y)$ rappresenta l'intensità del fascio trasmesso in assenza di particelle.

Una variante nel procedimento di misura secondo la presente invenzione può essere vantaggiosa-

mente applicata al caso in cui più di una particella sia presente contemporaneamente nella regione di osservazione MR investita dal fascio IB, in modo tale da produrre più di un sistema di frange di interferenza sul piano M in cui si registra l'intensità della radiazione. In tal caso la procedura è identica alla precedente fino alla fase c), e successivamente consiste nella fase seguente:

d') elaborazione dei dati ottenuti per svolgere un'identificazione, mediante opportuna procedura di analisi di immagini, dei centri C_k dei sistemi di frange (k è un numero intero che identifica il k -esimo sistema di frange).

I dati relativi alle configurazioni delle frange di interferenza possono quindi venire elaborati ad esempio secondo le fasi d) e e) della procedura sopra descritta.

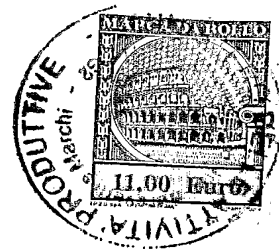
Un'altra variante nel procedimento di misura secondo la presente invenzione riguarda il caso più complicato in cui un numero elevato di particelle è simultaneamente presente nella regione di osservazione MR, in cui il fascio ha una sezione grande, nel senso che sarà chiarito più avanti. In questo caso, su un piano M posto a distanza fissata z_M dalla regione di osservazione MR la distribuzione di

intensità appare molto complicata, essendo la somma di molti sistemi di frange di interferenza originati dalle singole particelle. Il segnale ha tutte le caratteristiche di un rumore e assomiglia ad un cosiddetto campo speckle. Pertanto per fascio grande si intende un fascio sostanzialmente più grande della dimensione tipica delle prime frange delle figure di interferenza. In questo caso è possibile modificare opportunamente la configurazione ottica, ad esempio illuminando il campione con un fascio di radiazione collimato e registrando la sovrapposizione delle frange di interferenza a valle del campione, ad una distanza fissata z_m opportunamente scelta. Tale distanza, nel caso di fascio collimato, dovrà quindi essere tale che sia soddisfatta la relazione $z_m > a^2 / \lambda$, dove λ è un valore caratteristico per la lunghezza d'onda della radiazione utilizzata, mentre a è una dimensione caratteristica delle particelle contenute nella regione di osservazione (MR), in modo tale che ciascun elemento sensore riceva la radiazione diffusa di un numero grande di particelle, così da consentire un'elaborazione dei dati mediante analisi statistica delle misure.

In tal caso nessun sistema di frange indivi-

duale può essere estratto dalla sovrapposizione estremamente complicata di sistemi di frange posizionati casualmente sul piano M. E' tuttavia possibile utilizzare un procedimento statistico basato sul calcolo dello spettro di potenza delle distribuzioni di intensità registrate. In tal modo si ottiene una funzione che risulta legata biunivocamente alla distribuzione di intensità delle frange di interferenza di una singola particella, e l'informazione sulle differenze di fase può essere recuperata. Per esempio, nel caso di particelle molto piccole, lo spettro di potenza diventa la funzione di trasferimento della tecnica ottica nota come Shadowgraph, che esibisce un profondo minimo a zero, per il valore del vettore d'onda di scattering $q = 2 \pi / \lambda \sin(\theta/2)$, dove θ rappresenta l'angolo formato tra la direzione della radiazione diffusa e la direzione della radiazione incidente. Non appena i diametri delle particelle diventano più grandi, il minimo di intensità in $q = 0$ si trasforma gradualmente in un picco sempre maggiore, permettendo di risalire alla misura dell'ordine frazionario al centro del sistema di frange generato da ogni singola particella.

In questo caso, un esempio di procedura di e-



laborazione dei dati raccolti consiste nel procedimento di analisi dati comunemente utilizzato per misure di Shadowgraph quantitativo, che può essere esemplificato nelle fasi seguenti:

a'') registrazione di un numero N di distribuzioni di intensità $I_i(x,y)$ in presenza di particelle nel fascio;

b'') elaborazione dei dati relativi alle N distribuzioni di intensità $I_i(x,y)$ per ottenere una distribuzione di intensità $I_0(x,y)$ che ben rappresenta la distribuzione statica di intensità dovuta al fascio trasmesso in assenza del segnale dovuto alle particelle;

c'') elaborazione dei dati ottenuti per ottenere una distribuzione $J_i(x,y) = (I_i(x,y) - I_0(x,y)) / I_0(x,y)$ che fornisce la sovrapposizione delle frange di interferenza ad elevato contrasto;

d'') elaborazione dei dati relativi alle distribuzioni $J_i(x,y)$ per ottenere spettri di potenza bidimensionali $J_i(q_x, q_y)$;

e'') elaborazione dei dati ottenuti nella fase 4'') mediante media degli spettri di potenza bidimensionali per ottenere uno spettro di potenza bidimensionale $J(q_x, q_y)$;

f'') elaborazione dei dati relativi allo spettro di

potenza bidimensionale $J(q_x, q_y)$ per ricavare, nota la distanza z_M e la geometria dell'apparecchiatura, l'ordine frazionario al centro delle frange di interferenza la cui sovrapposizione determina le distribuzioni di intensità registrate, $I_i(x, y)$; e g'') elaborazione dei dati relativi all'ordine frazionario al centro per ricavare la dimensione delle particelle con metodi noti.

In questo caso le distribuzioni di intensità $I_i(x, y)$ rappresentano complicate sovrapposizioni di numerose frange di interferenza che assomigliano a campi speckle.

Quanto sopra indica che la presente invenzione può essere utilmente sfruttata per allargare il campo di utilizzo della tecnica recentemente proposta dal nome Near Field Scattering Technique, descritta nella domanda di brevetto internazionale WO 02/103332.

Una variante dell'apparecchiatura per attuare il procedimento secondo l'invenzione è schematicamente rappresentata in figura 3. Essa comprende una sorgente di radiazione elettromagnetica 1''' come descritto per le realizzazioni precedenti, seguita da un'ottica di formatura del fascio 2''' comprendente una lente cilindrica che forma nel suo piano

focale η una sottile lama di radiazione 4''' avente ampiezza D. In tal modo le frange IF generate sul piano di rilevazione M dall'interferenza tra la radiazione trasmessa e quella diffusa risultano fortemente deformate. L'analisi monodimensionale delle frange di interferenza così ottenute può essere svolta all'interno del piano η in cui giace la lama di radiazione 4''', per ricavare le informazioni relative all'ordine frazionario al centro di ogni sistema di frange originato da particelle investite dalla lama di radiazione 4'''. Inoltre, essendo in questo modo l'informazione monodimensionale, può essere utilizzato un sistema di sensori 3''' disposti monodimensionalmente, anziché un sistema a matrice rettangolare. Tale realizzazione è particolarmente vantaggiosa nel caso in cui si svolgano misure su particelle immerse in un fluido in flusso, che può essere fatto fluire ortogonalmente alla lama di radiazione 4''', nella direzione della freccia F. La procedura di analisi dei dati raccolti può quindi avvenire secondo quanto descritto negli esempi di procedura riportati precedentemente.

I procedimenti sopra descritti, come altre possibili forme di attuazione della presente invenzione, possono richiedere un numero di acquisizioni

elevato, ad esempio per poter abbattere il rumore che inevitabilmente affligge la misurazione, ed ottenere quindi una determinazione adeguata delle proprietà delle particelle in esame.

Si intende che l'invenzione non è limitata alle forme di realizzazione qui descritte ed illustrate, che sono da considerare come esempi di attuazione del procedimento per la misurazione di proprietà di particelle, e della relativa apparecchiatura; l'invenzione è invece suscettibile di modifiche relative a forma, realizzazione e disposizione di parti, dettagli costruttivi e procedimenti di acquisizione dei dati e della loro analisi.

Inoltre l'invenzione non è necessariamente limitata alla misurazione di proprietà di particelle solide in un mezzo fluido, ma può essere utilizzata per la misurazione delle proprietà dei materiali che possono essere desunte mediante la misura della differenza di fase tra le onde diffuse e l'onda trasmessa come descritto in precedenza, secondo le possibili varianti che appariranno opportune ai tecnici del settore, e che sono da intendersi comprese nell'ambito dell'invenzione, così come definito nelle seguenti rivendicazioni.



RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per la misurazione di proprietà di particelle, comprendente le fasi di:

generare un fascio di radiazione (IB) propagantesi lungo una direzione principale (z);

illuminare con detto fascio (IB) una regione di osservazione (MR) occupata o percorsa da una pluralità di particelle (B), una parte di detto fascio (IB) generando una radiazione diffusa (SW) per interazione di scattering di detta parte del fascio (IB) con dette particelle (B) ed un'altra parte (TB) trasmettendosi sostanzialmente imperturbata lungo la direzione principale (z) attraverso detta regione di osservazione (MR); e

rilevare su un piano (M) disposto lungo la direzione di propagazione (z) una pluralità di valori di intensità di radiazione determinati dall'interferenza fra detta radiazione diffusa (SW) e detta radiazione trasmessa (TB);
caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre le fasi di:

individuare sistemi di frange di interferenza rispettivamente associati alle singole particelle (B), in cui la figura di interferenza è influenzata da un ritardo di fase della radiazione diffusa (SW)

JACOACCI & PARTNERS s.p.a.

rispetto alla radiazione trasmessa (TB), detto ritardo essendo determinato dall'interazione del fascio di radiazione (IB) con dette particelle (B); e

determinare dette proprietà delle particelle (B) sulla base delle frange influenzate da detto ritardo di fase.

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui detta individuazione dei sistemi di frange di interferenza comprende una determinazione dell'ordine frazionario al centro relativo ai singoli sistemi di frange.

3. Procedimento secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui detta individuazione dei sistemi di frange di interferenza comprende una determinazione della profondità di modulazione di intensità relativa ai singoli sistemi di frange.

4. Procedimento secondo una delle rivendicazioni 1 a 3, in cui detto fascio di radiazione (IB) presenta un fronte d'onda piano, ed in cui detto piano (M) di rilevazione è disposto ad una distanza predeterminata z_M dalla regione di osservazione (MR), tale che sia valida la relazione $z_M > a^2 / \lambda$, dove λ è un valore caratteristico per la lunghezza d'onda della radiazione utilizzata, mentre a è una dimensione caratteristica delle particelle contenute

nella regione di osservazione (MR).

5. Procedimento secondo una delle rivendicazioni 1 a 3, in cui detto fascio di radiazione (IB) viene focalizzato in prossimità della regione di osservazione (MR).

6. Procedimento secondo la rivendicazione 5, in cui la posizione della regione di osservazione (MR) è scelta in modo da essere al di fuori della zona di Rayleigh (RZ) vicino alla posizione di minor diametro del fascio (IB).

7. Procedimento secondo una delle rivendicazioni 1 a 3, in cui detta radiazione viene focalizzata mediante un'ottica cilindrica (2'''), in modo da formare una lama di luce (4''') che illumina sostanzialmente monodimensionalmente la regione di osservazione (MR).

8. Procedimento secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui detta illuminazione e detta rilevazione sono effettuate da parti opposte rispetto alla regione di osservazione (MR).

9. Procedimento secondo una delle rivendicazioni precedenti, predisposto in modo tale da determinare l'ordine frazionario al centro del sistema di frange di interferenza originato da una singola particella per volta.

10. Procedimento secondo una delle rivendicazioni 1 a 8, in cui detta determinazione dei sistemi di frange di interferenza rispettivamente associati alle particelle (B) comprende una determinazione dei centri (C_k) di una pluralità di sistemi di frange di interferenza originati da una corrispondente pluralità di particelle (B).

11. Procedimento secondo la rivendicazione 10, in cui detta determinazione dei sistemi di frange di interferenza rispettivamente associati alle particelle (B) comprende una determinazione di uno spettro di potenza del campo elettrico corrispondente a detta pluralità di valori di intensità di radiazione.

12. Procedimento secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui la determinazione di dette proprietà delle particelle (B) sulla base delle frange di ordine inferiore di detti sistemi di frange è programmata in modo tale da determinare la distribuzione delle dimensioni delle particelle (B).

13. Apparecchiatura predisposta per attuare un procedimento di misurazione secondo la rivendicazione 1, comprendente:

una sorgente ($1; 1'''$) di detto fascio di radiazione (IB), atta all'illuminazione della regione



di osservazione (MR);

mezzi sensori (3; 3'''), atti alla rilevazione della radiazione in una pluralità di punti contemporaneamente ed a rendere disponibile un segnale indicativo di detta rilevazione, disposti lungo la direzione di propagazione (z) in modo tale da rilevare una pluralità di valori di intensità di radiazione determinati dall'interferenza fra detta radiazione diffusa (SW) e detta radiazione trasmessa (TB), in cui l'interferenza è influenzata da un ritardo di fase della radiazione diffusa (SW) rispetto alla radiazione trasmessa (TB), detto ritardo essendo determinato dall'interazione del fascio di radiazione (IB) con dette particelle (B); e

mezzi di elaborazione, programmati per determinare, sulla base di detto segnale, sistemi di frange di interferenza rispettivamente associati alle singole particelle (B), e per determinare dette proprietà delle particelle (B) sulla base delle frange influenzate da detto ritardo di fase.

14. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 13, comprendente inoltre mezzi a lente interposti fra detta regione di osservazione (MR) e detti mezzi sensori (3; 3'''), in modo tale da consentire la rilevazione in modo indiretto mediante rilevazione

della pluralità di valori dell'intensità in un piano otticamente coniugato.

15. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 13 o 14, comprendente inoltre un sistema (2''') di formatura del fronte d'onda basato su ottica cilindrica, tale da formare una sottile lama di radiazione (4''') per l'illuminazione della regione di osservazione (MR).

16. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 13 o 14, comprendente inoltre un sistema (2) di formatura del fronte d'onda, atto a focalizzare la radiazione in prossimità della regione di osservazione (MR).

17. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 13 o 14, comprendente inoltre un sistema di formatura del fronte d'onda, atto a collimare la radiazione incidente sulla regione di osservazione (MR).

18. Apparecchiatura secondo una delle rivendicazioni 13 a 17, in cui detti mezzi sensori (3; 3''') comprendono un sensore CCD, NMOS o CMOS.

19. Apparecchiatura secondo una delle rivendicazioni 13 a 18, in cui la sorgente (1; 1''') è una sorgente a molti colori.

JACOBACCI & PARTNERS s.p.a.

PER INCASSO
Edgardo Deambrosi
EDGARDO DEAMBROSI
(scr. No. 931B)

CAMERA DI COMMERCIO
INDUSTRIA ARTIGIANATO E AGRICOLTURA
DI TORINO

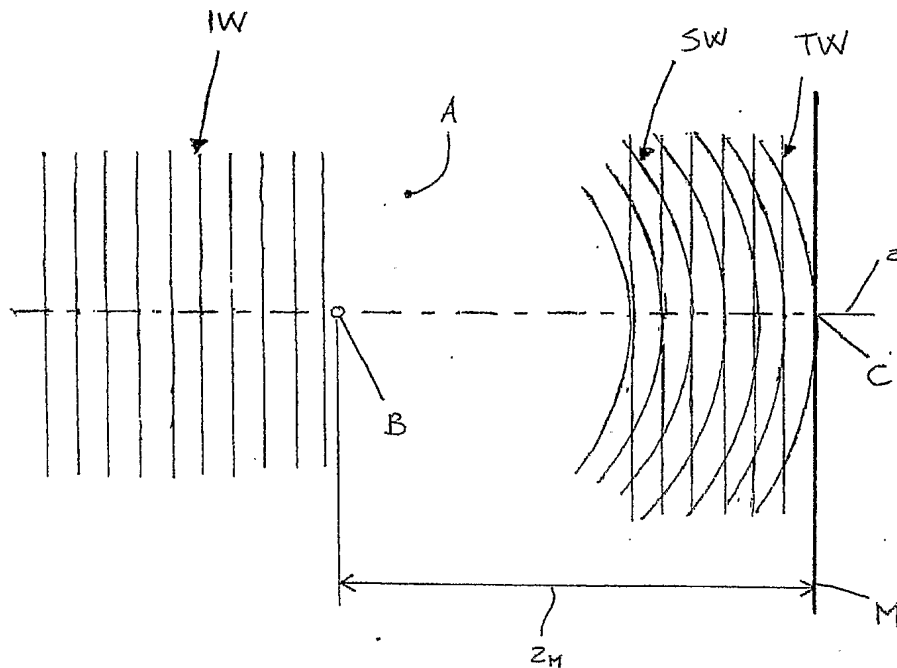


Fig. 1

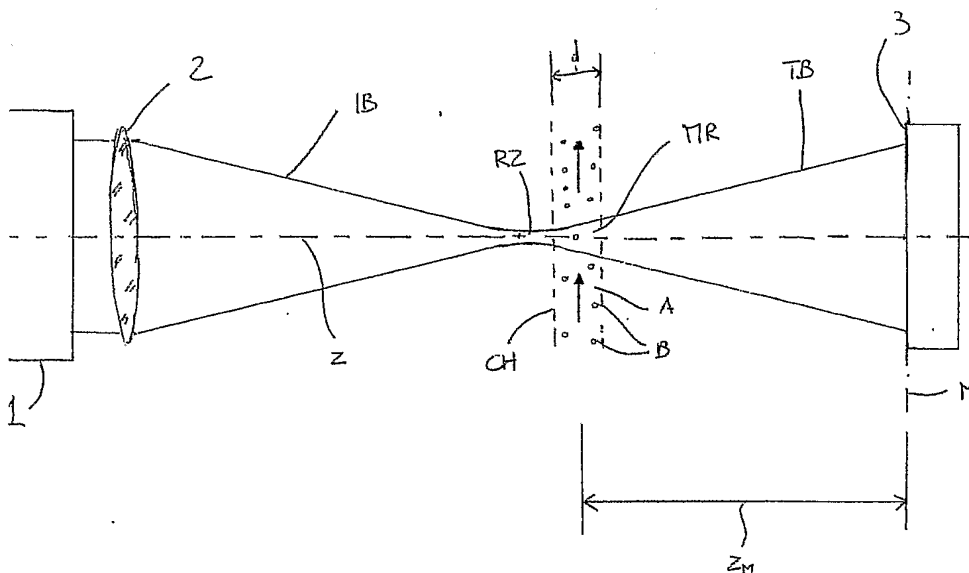


Fig. 2

EDGARDO DEAMBROGI

(Iscri. No. 931B)

Edgardo Deambrogi



CAMERA DI COMMERCIO
INDUSTRIA ARTIGIANATO E AGRICOLTURA
DI TORINO

Fig. 3

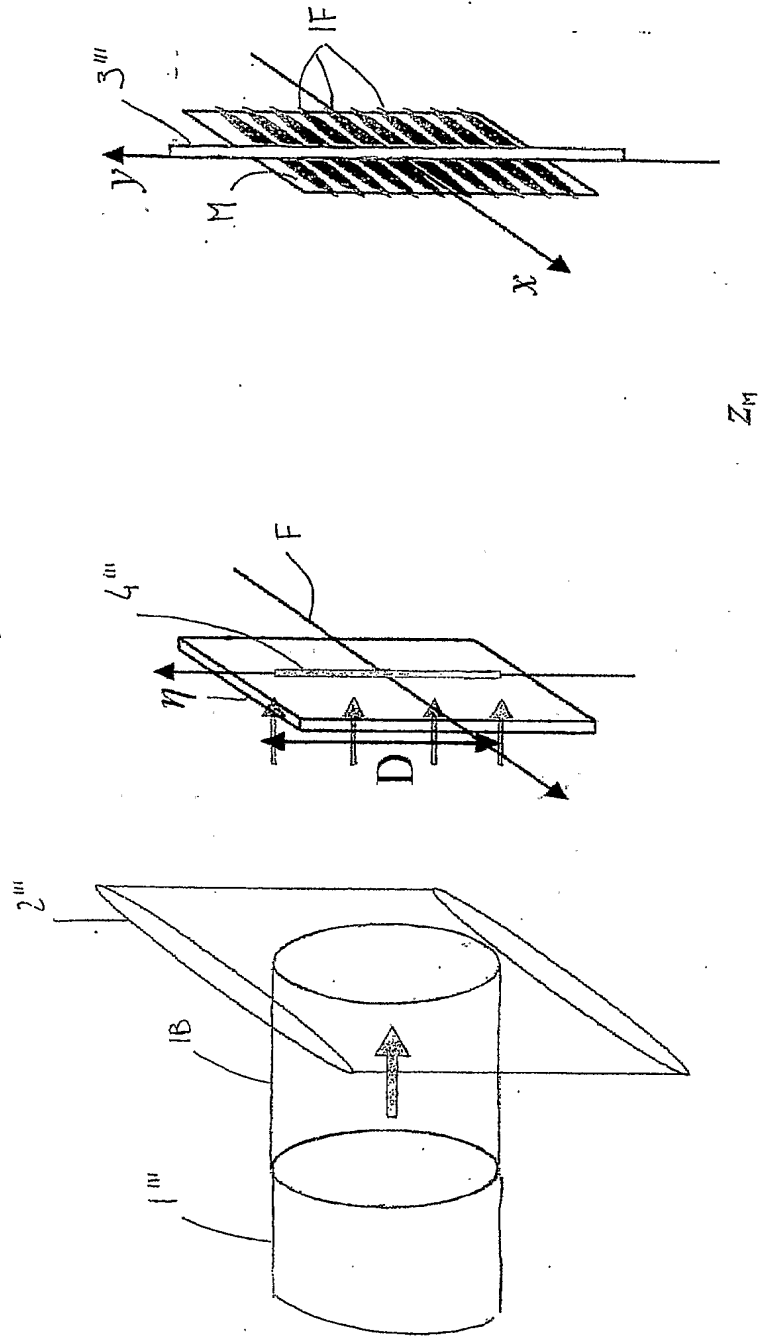




FIG. 1

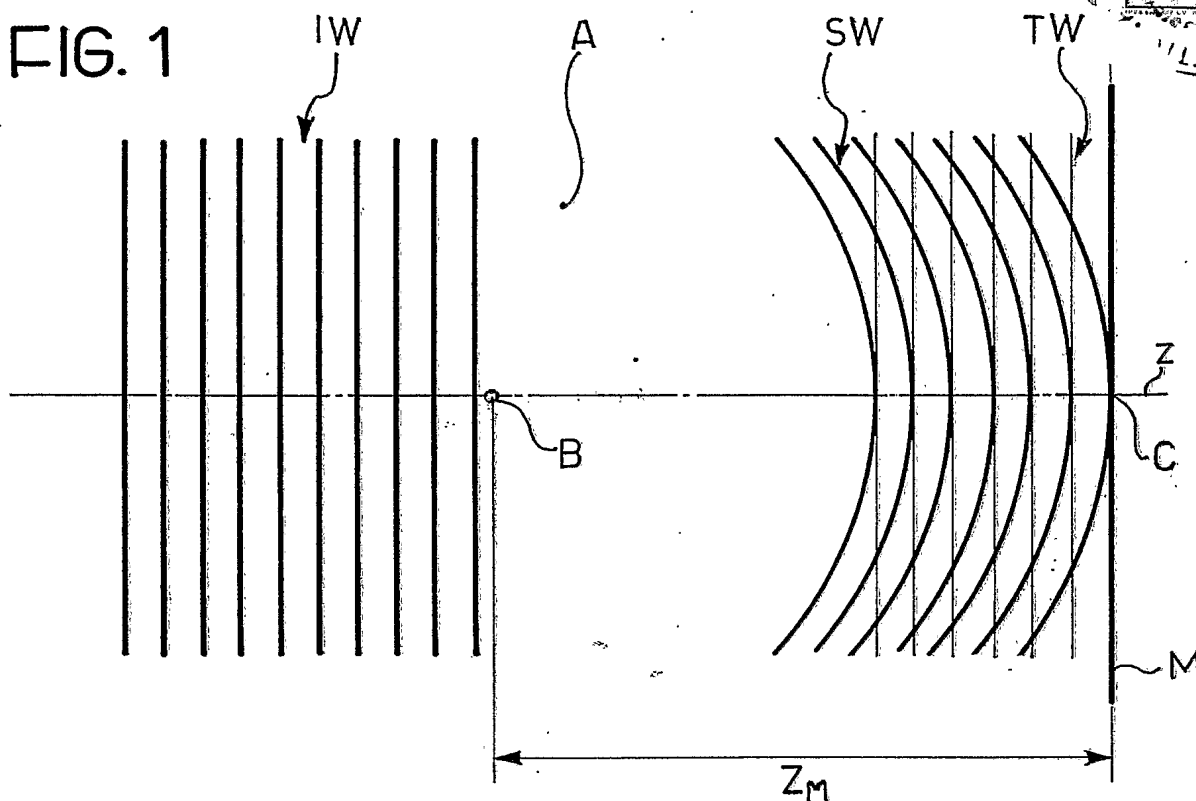
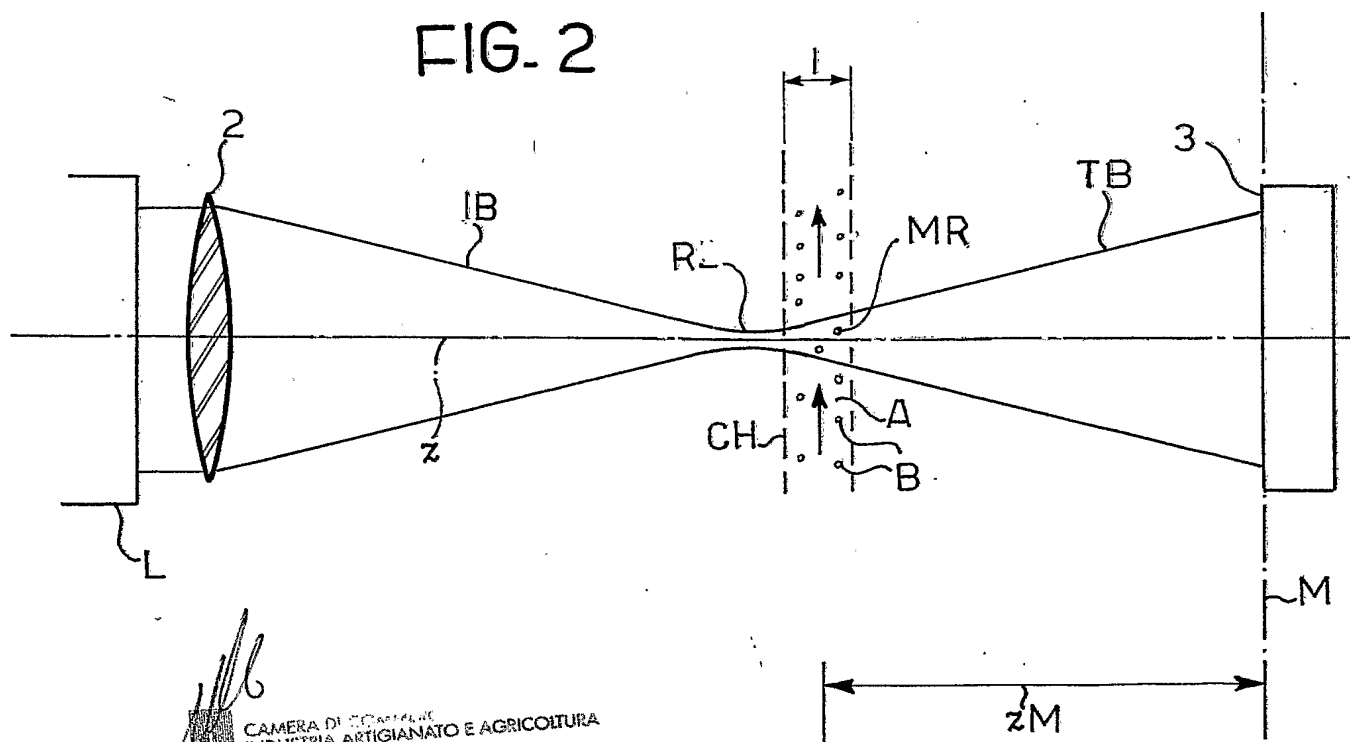


FIG. 2

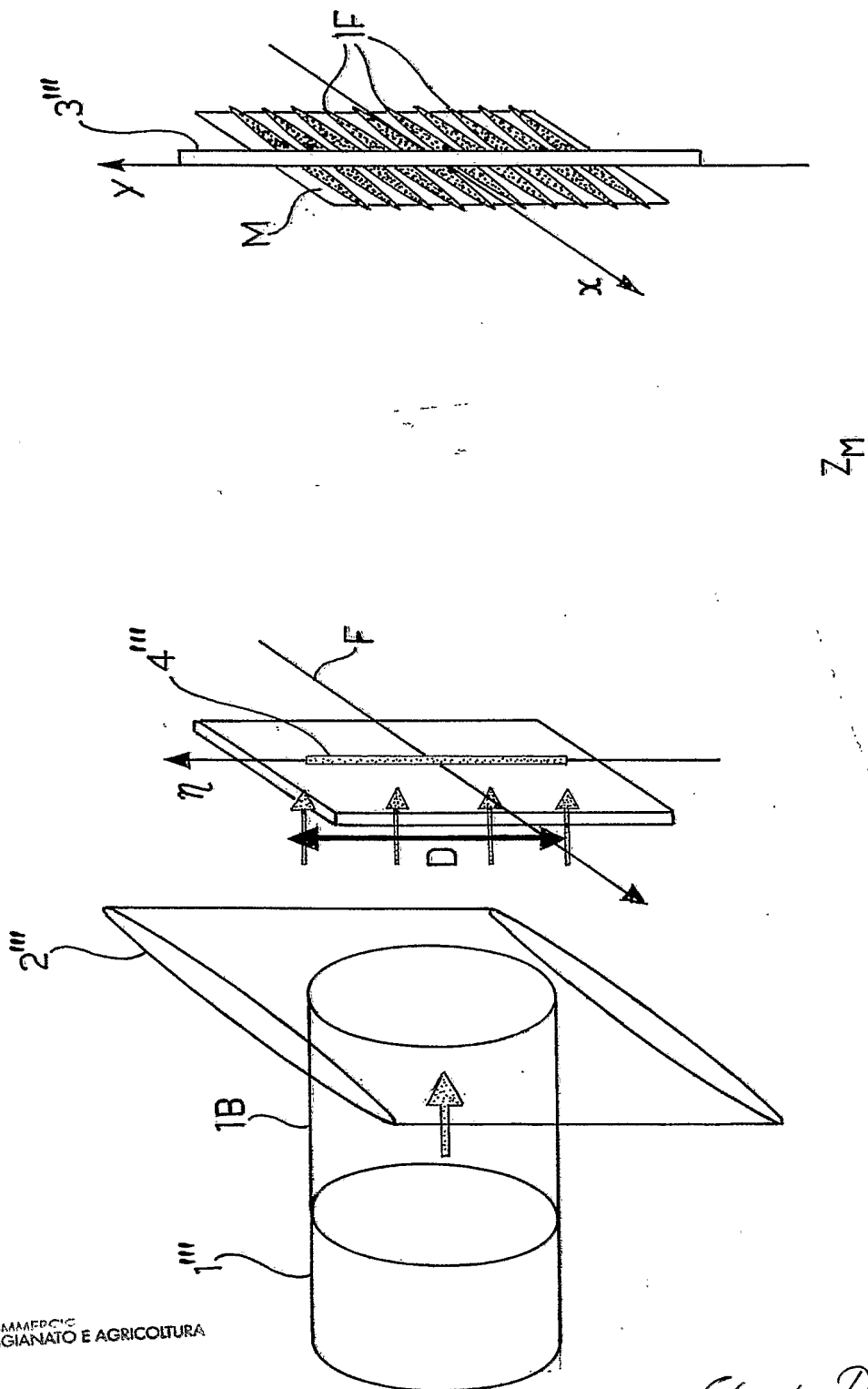



CAMERA DI COMMERCIO,
INDUSTRIA, ARTIGIANATO E AGRICOLTURA
DI TORINO

EDGARDO DI NIVIDHOGI
(Iscr. No. 931B)

Edgardo De Nividhogi

FIG. 3



 CAMERA DI COMMERCIO
INDUSTRIA, ARTIGIANATO E AGRICOLTURA
DI TORINO

Per incarico di: UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO

Edgardo De Ambroggi
EDGARDO DEAMBROGGI
(Ser. No. 931E)